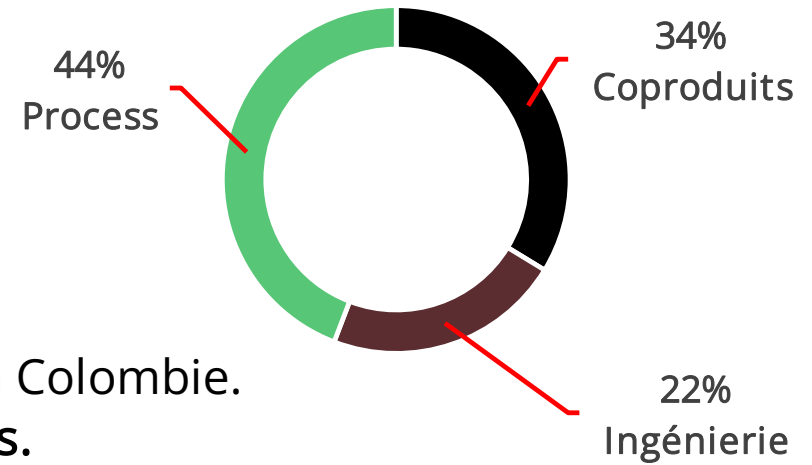


VOLET INDUSTRIEL

ISSCT 2025 – CALI – COLOMBIE

14 pays ont présentés pour le volet Industriel du XXXIe congrès de l'ISSCT en Colombie.
Au total 66 papers ont été présentés et 23 posters additionnels partagés.



2 Commissions, abordant 3 thématiques principales:

1. Co-Produit

2. Ingénierie

3. Process



**Co-Products
Commissioner**

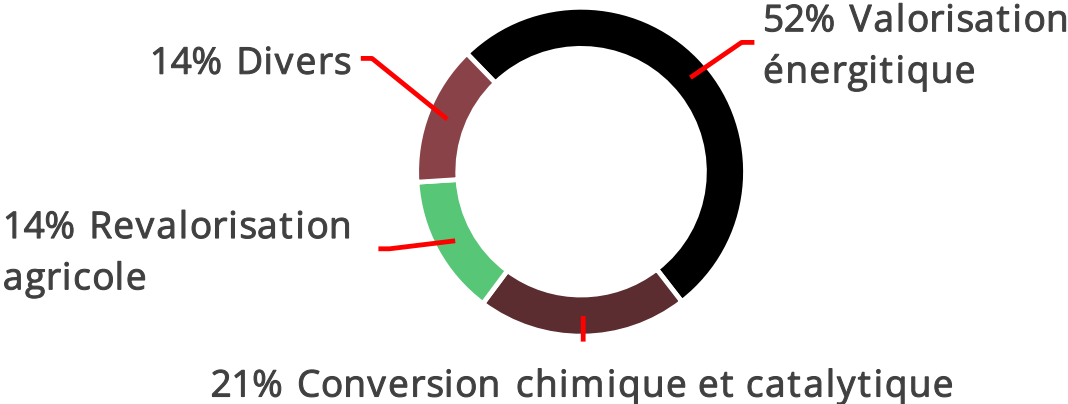
Dr. Bryan Peter
LAVARACK



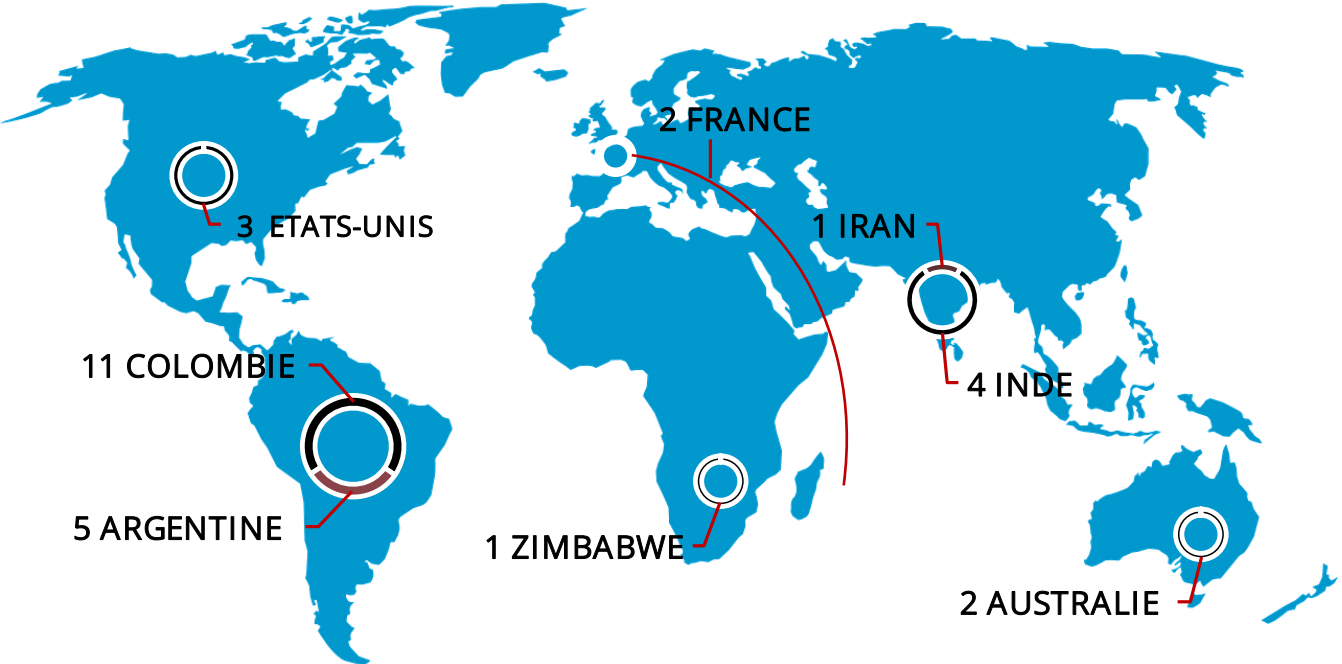
**Factory
Commissioner**

Dr. Gillian EGGLESTON

CO-PRODUITS



Les 22 papers et 7 posters révèlent une dynamique claire:
Intégration complète des coproduits sucriers dans une logique de bioraffinerie circulaire et décarbonée



3 axes principaux se dégagent:

- 1. Valorisation énergétique
- 2. Conversion chimique et catalytique
- 3. Revalorisation agricole et environnementale

Une sucrerie moderne devient à la fois:

- centrale énergétique
- plateforme chimique
- acteur de circularité locale

CO-PRODUITS

Les 22 papers et 7 posters révèlent une dynamique claire:

Intégration complète des coproduits sucrier dans une logique de bioraffinerie circulaire et décarbonée

1. Valorisation énergétique

- Production d'hydrogène
- Gazéification bagasse et résidus de récolte
- Gazéification de la vinasse
- Combustion des résidus de récolte
- Optimisation des consommations vapeur
- Intégration de l'éthanol au Diesel



2. Conversion chimique et catalytique

- Valorisation de la bagasse et vinasse
 - Acide lactique
 - Acide aconitique
 - 5-chlorométhylfurfural
 - Nanoparticules d'argent
- Transformation bagasse en contenant alimentaires



3. Revalorisation agricole et environnementale

- Valorisation agricole des coproduits et compostage
- Production de Biochar
- Transformation de la vinasse en engrais solide



3 articles traitent de la production d'éthanol

- Amélioration de l'efficacité en distillation
- Rendement distillerie:
 - Etude microbienne
 - Impact couleur sur la fermentation

CO-PRODUITS

PRODUCTION D'HYDROGÈNE VERT

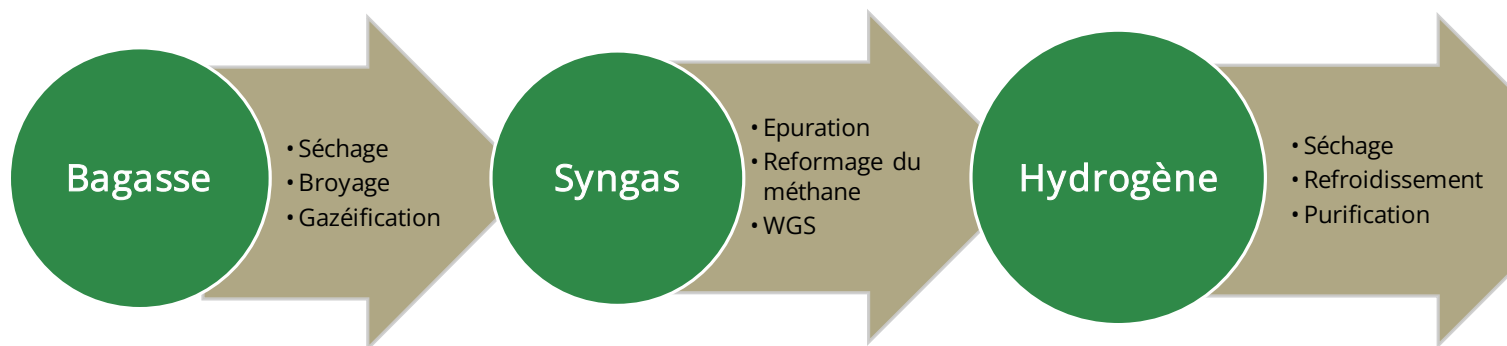
Sources:

Colombie *Incauca Sugar Mill - Alejandro Orozco Donneys*
Oropesa Energies - Jose Dario Perea

Inde *Vasantdada Sugar Institute - Kakasaheb Konde,*
Sangram Patil and Shuvashish Behera

Par gazéification de la bagasse

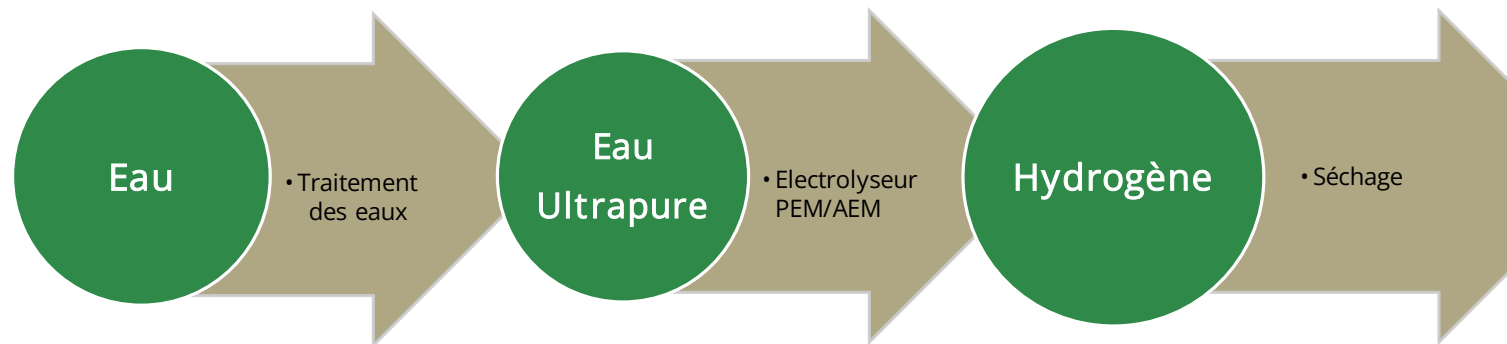
Orientation bagasse vers gazéification plutôt que vers une combustion chaudière biomasse classique



Efficacité énergétique	55-60%
LCOH (USD/kg):	3,5-4,2
	1,9-3,5

Par électrolyse PEM/AEM

Consommation énergétique importante, le modèle dépend du tarif du kWh, d'où les préconisations d'utilisation sources électriques solaire et biomasse



Efficacité énergétique	65-75%
LCOH (USD/kg):	2,8-3,1
	2,5

(si tarif < 0,03 USD/kWh)

Intérêts: • Production et commercialisation: HHO - H2 - Ammoniac
 • Décarbonation: Substituée aux ressources fossiles

CO-PRODUITS

⚡ RÉSIDUS DE RÉCOLTE

Sources:

Argentine Université et station exp. de Tucuman - Federico Franck Colombres; Enrique Feijoó; Patricia Garolera de Nucci; Gisela Díaz; Marta Cruz

Colombie Cenicaña - Andrés Felipe Ospina; William Alexander Ojeda; Tomás Pantoja; Nicolás Javier Gil

Par gazéification des résidus de récolte

A Tucuman, il est estimé que 30 à 70% des résidus agricoles peuvent être retirés des champs en fonction des zones.

A Tucuman un appoint de gaz naturel est nécessaire à la production d'énergie alimentant sucrerie, distillerie et déshydratation, concentration vinasse. Contrairement au Syngas, la gazéification est effectuée à l'air, ce qui produit un gaz pauvre

- Avec 1kg de résidus agricoles on produit 2,7 kg de gaz (PCI = 2057 kJ/kg)



- Avec 5,07kg de résidus agricoles on produit 1kg de gaz naturel
- Réduction de 94,3% des émissions de gaz à effet de serre

L'impact de la combustion de 2-3% de résidus de récolte a été évalué sur 2 usines en Colombie

Par combustion des résidus de récolte

En Colombie, il est estimé qu'en moyenne 50% des résidus agricoles peuvent être retirés des champs.

	Chaudière 1: 65bar	Chaudière 2: 42bar	Remarques
Efficienc	-0,9 points (66,8%-65,9%)	- 4,4 points (59,6%-55,2%)	Humidité résidus - Augm. Imbrulés - Pertes à la grille
Dépôts	+861mg/j (9,43g-13,88g)	+8,4mg/j (0,10g-0,19g)	Légère augmentation des dépôts sur la chaudière sans charbon
Dioxines Furanes	+6pg/m3 (7-13pg/m3)	+16pg/m3 (4-20 pg/m3)	Taux de chlorure plus élevé dans les résidus de coupe que dans la bagasse. Seuils acceptables

G. Barrera, ingénieur indépendant mets en lumière l'augmentation de la corrosion pour les chaudières brulant une forte proportion de canne mécanisée, de la canne verte et des résidus agricoles de coupe.

↗ minéraux + ↗ particules fines → sels hygroscopiques → corrosion non liée au soufre.

CO-PRODUITS



INTÉGRATION D'ÉTHANOL DANS LES CARBURANTS

Sources:

Inde *Krushnaraj Biofuel; STAI; SISSTA - Ravi Shrinivasan, Sanjay Awasthi and N Gopalakrishnan*

Colombie *Cenicaña - William Alexander Ojeda, Andrés Felipe Ospina, Lina Marcela Arévalo and Nicolás Javier Gil*

Inde *Vasantdada Sugar Institute, College of engineering Pune - RA Chandgude, MV Taur, Rachana Bhokare and MR Nandgaonkar*

Le SP95, qui incorpore en moyenne 10% d'éthanol est à présent largement rependu. Les stratégies de nombreux pays s'orientent vers l'augmentation de la proportion de biocarburant.

Focus Inde: Après avoir atteint 18,6% d'éthanol/essence en 2025, le plan gouvernemental est d'atteindre les 20% avec obligation que les véhicules soit « E20-tuned ». En Inde le maïs est un point de tension majeur, une partie de l'industrie sucrière est réorientée vers l'éthanol.

Outre le l'incorporation d'éthanol à l'essence, des travaux sont en cours sur le Diesel:

Injection d'éthanol sur des moteurs turbodiesel

*Injection dans l'air d'admission
en fonction d'un seuil de pression*

	Impact injection éthanol dans B10	Remarques
Puissance	+20%	<ul style="list-style-type: none">• Refroidissement de l'air par évaporation de l'éthanol• Oxygène présent dans bioéthanol• Meilleure combustion du Diesel
Couple	+10%	
GES	-10 à -13%	
Consommation	-5 à -7% de diesel	Le kit d'injection réduit le besoin en accélération

Mélange éthanol - diesel

*Au-delà de 30% d'éthanol des
problématiques de ratés, vibrations,
d'injection et pression excessives
apparaissent.*

Le mélange optimal a été trouvé pour 28,4% d'éthanol (à 2000rpm; 4Nm)

	Impact intégration de 28,4% Ethanol	Remarques
Puissance	+3 à 5 %	Meilleur atomisation + oxygène interne
BMEP	+6 à 8 %	Meilleure efficacité de la combustion
NOx-CO-HC	Baisse significative des Nox-HC	T° flamme plus basse et combustion plus complète

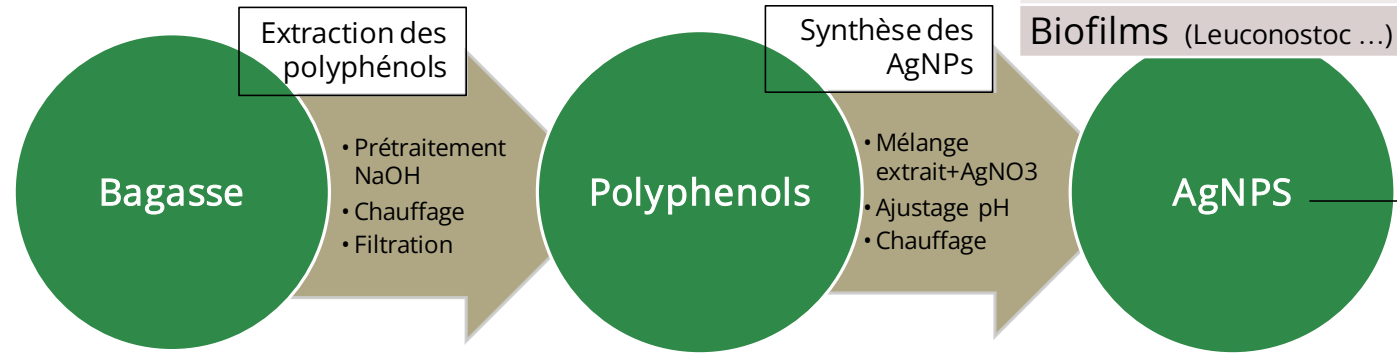
CO-PRODUITS



CONVERSION CHIMIQUE ET CATALYTIQUE

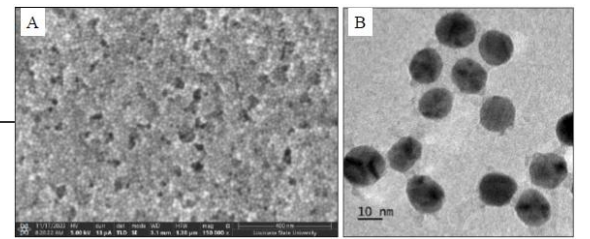
Sources:
USA *Audubon Sugar Institute, Université de Louisiane-
 Giovanna Aita and Young Hwan Moon*
Australie *Queensland University of Technology - Gabriel Fraga,
 Luqman Atanda and Darryn Rackemann*

Production de Nanoparticules d'argent (biocide) à partir de bagasse



Activité antimicrobienne et antibiofilms

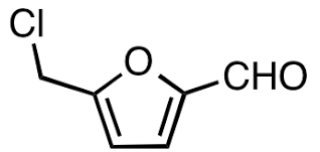
Gram - (salmonella; E.Coli ...)	Destruction totale à faible dose
Gram + (Staph., Leuconostoc, Listeria)	Sensibilité variable et MBC élevé
Biofilms (Leuconostoc ...)	Inhibition massive à faible dose



Economie circulaire permettant:

- Le contrôle des bactéries *Leuconostoc*: production de dextran, augmentation de la viscosité, pertes rendement, allongements cycles
- La réduction des biofilms : sur le secteur extraction, les circuits de jus, les évaporateurs

Production de CMF à partir de bagasse



Le CMF (5-CHLOROMÉTHYLFURFURAL), molécule plateforme pour le bioplastique, les biocarburants et les résines ...



CO-PRODUITS



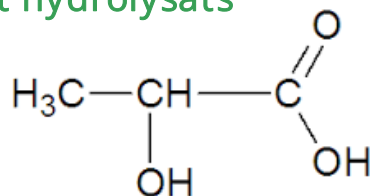
CONVERSION CHIMIQUE ET CATALYTIQUE

Sources:

Colombie *Providencia sugar mill - Darly Silvana Parrado, Alejandro Villegas and Juan Carlos Serrato*

France *eRcane, AgroParis Tech - Jenny Wu-Tiu-Yen and Claire Fargues*

Production d'acide lactique à partir de mélasse et hydrolysats



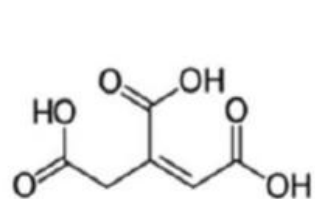
Economie circulaire permettant, à partir d'une souche locale de *Lactobacillus plantarum* et de co-produits sucriers, de produire de l'acide lactique à travers les procédés de fermentation batch et fed-batch.

Procédé	Croissance	Rendement	Production	Productivité
Batch	Population x2: 1,22h	82,7 %	50 g/L	1,4 g/L/h
Fed Batch		94 %	107,3 g/L	1,38 g/L/h

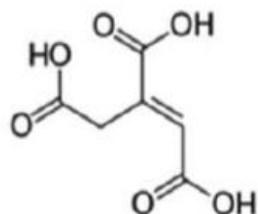
Substrat:
Mélasse: 863,5 g/L de SF
Hydrolysat: 37,0 g/L de SF

Molécule plateforme pour: bioplastiques – alimentaire – cosmétique – pharmaceutique ...
+7,2% de croissance /an

Extraction d'acide aconitique à partir de la vinasse



Cis-aconitic acid



Trans-aconitic acid

L'acide aconitique est un des acides principaux présent dans la vinasse (max 7g/L).
Le procédé principal utilisé pour l'extraction est la chromatographie échangeuse d'anions

- Pureté réelle sur matière sèche: 28% d'acide aconitique
- Récupération globale: 61% (principalement non fixé sur la résine)

Molécule de base pour l'alimentaire: aromatisant / acidifiant

CO-PRODUITS

REVALORISATION AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

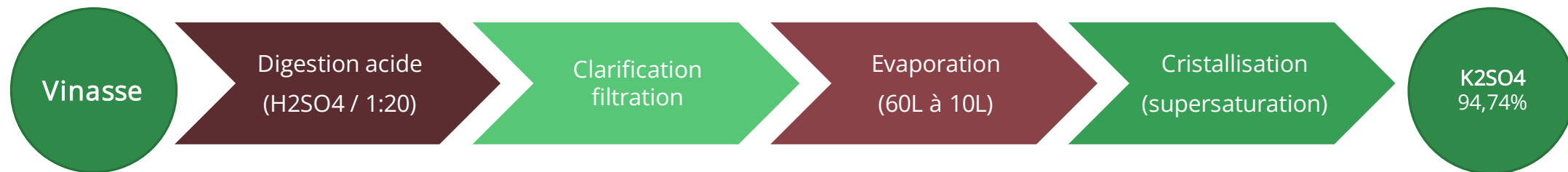
Sources:

Zimbabwe Midlands State University , Zimbabwe Sugar Association - Josephine Urayayi, Hardlife Rambwawasvika and Washington Mutatu

Australie Queensland University of Technology - Gabriel Fraga, Luqman Atanda and Darryn Rackemann

Production de sulfate de potassium à partir de la vinasse

La transformation de la vinasse en sulfate de potassium permet de passer d'un effluent liquide à un produit solide et stable. Les coûts de stockage en sont réduits ainsi que la dépendance aux importations.



- Pour un rendement de 19kg par m3 de vinasse ayant une pureté de 94,74%, la récupération moyenne: 89,23%
- Le coût de production est de 31,1 USD/ Sac 50kg, inférieur au prix d'achat chez un détaillant au Zimbabwe

Performances agricoles Apport de Biochar

L'apport de différent biochar et à des doses différentes a été étudié sur une parcelle. Un seul apport de Biochar avec un suivi de la parcelle sur 3 repousses

Témoin:

Rdt canne: 68,3 t/ha

Rdt sucre: 6,57 t/ha

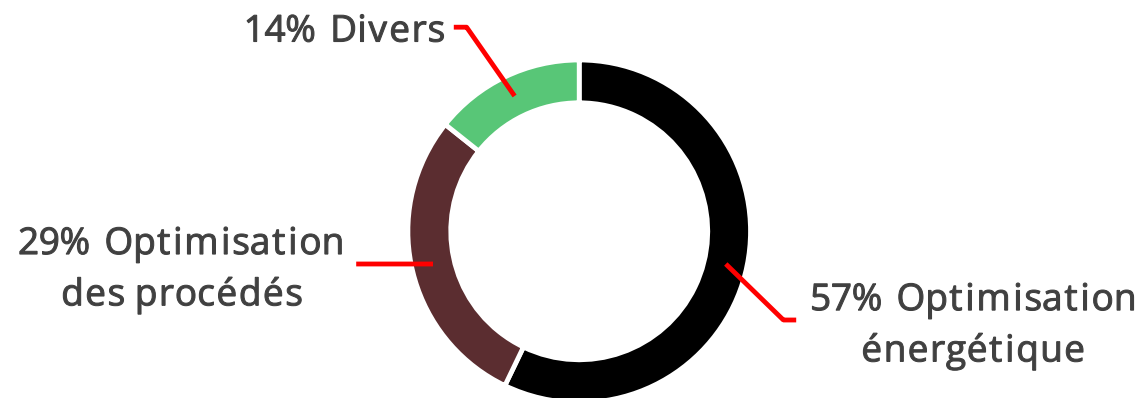
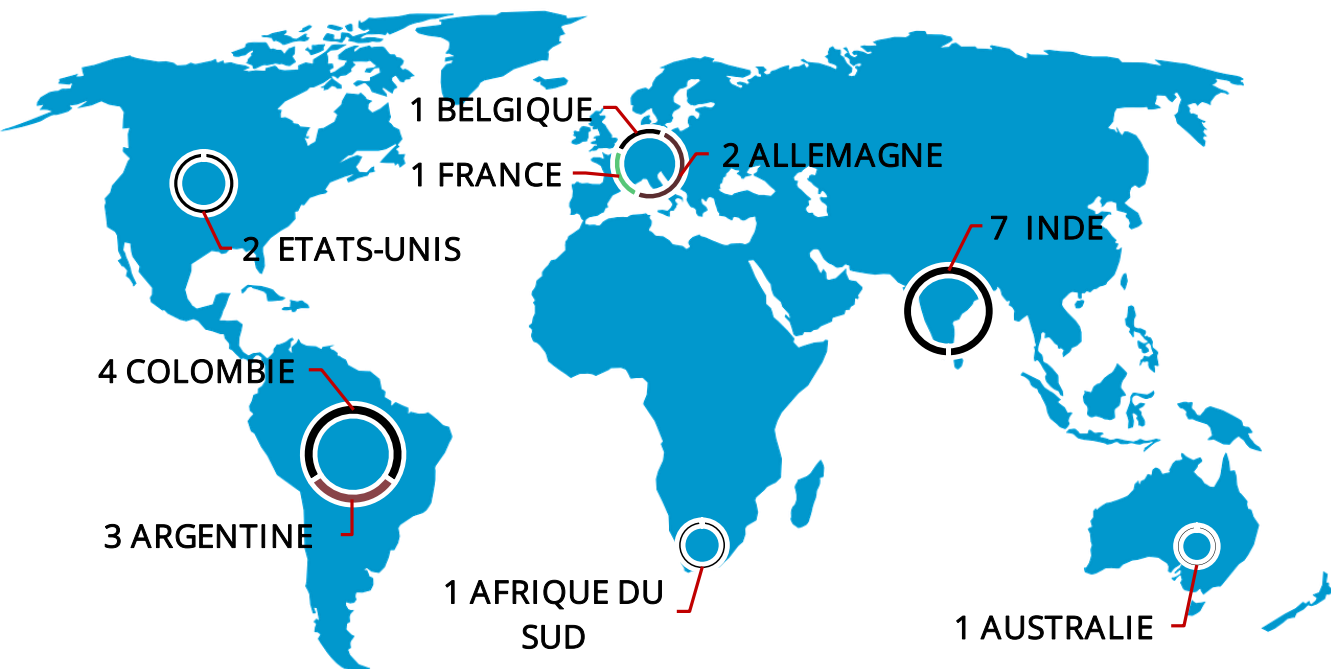
Type Biochar	Dose (t/ha)	Rdt canne (t/ha)	Gain / Témoin	Rdt sucre (t/ha)	Gain / Témoin
Bagasse	0,8	78,1	+14%	7,1	+8,5%
Bagasse	1,6	83,3	+22%	8,2	+25%
Résidus récolte	0,8	85,8	+26%	8,6	+31,7%
Résidus récolte	1,6	78,7	+15%	7,5	+13,9%

Impact: amélioration durable du sol, séquestration de carbone, hausse des rendements

INGÉNIERIE

Les 17 papers et 5 posters révèlent une dynamique claire:

L'industrie sucrière évolue vers des usines à consommation énergétique basse, fortement digitalisées et valorisant pleinement les biomasses



2 axes principaux se dégagent:

 1. *Optimisation énergétique*

Plus de 50% des papers et posters traitent de:

- *l'amélioration de la production d'énergie*
- *la diminution des consommations vapeur et électrique*

 2. *Optimisation des procédés*

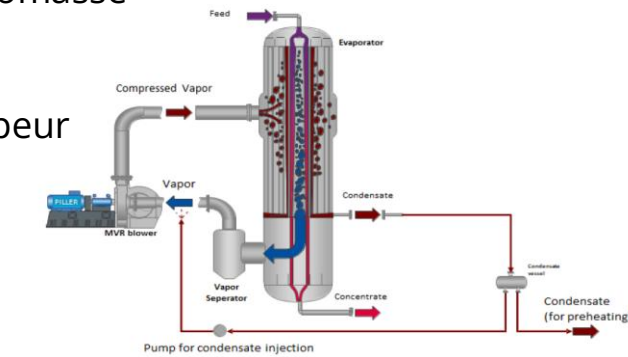
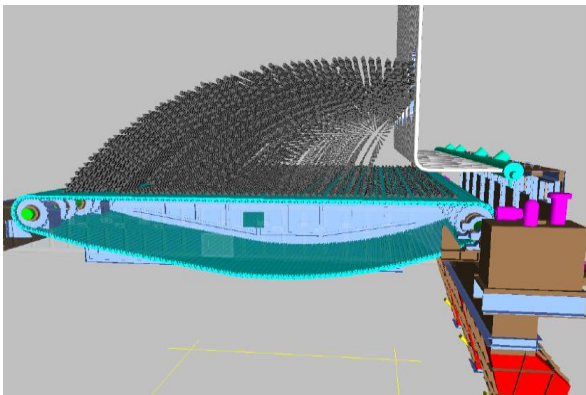
INGÉNIERIE

Les 17 papers et 5 posters révèlent une dynamique claire:

L'industrie sucrière évolue vers des usines à consommation énergétique basse, fortement digitalisées et valorisant pleinement les biomasses

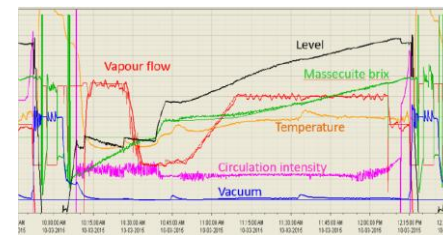
1. Optimisation énergétique

- ⚡ Complexes sucriers ultra-efficaces
- Chaudière mixte bagasse-vinasse-biomasse
- Combustion des résidus de récolte
- Séchage de la bagasse
- Recompression mécanique de la vapeur
- Modèle optimisé de l'évaporation



2. Optimisation des procédés

- Optimisation cristallisation (nouvelle technologie de tubes)
- Automatisation de la cristallisation
- Optimiser le refroidissement des eaux
- Prédiction des Pol et Brix (spectrométrie NIR)
- Gestion des "Soft' Cane"



Divers

- Vannes adaptées au lait de chaux
- Motorisation de l'avant usine
- Durée de vie des couteaux
- Caractérisation des cendres de chaudières

INGÉNIERIE

CO-GÉNÉRATION

Sources:

Inde

Ponni Sugars Erode, SISSTA –
R Chandrasekaran and N Gopalakrishanan

Inde

Enviropool Engineers - Rajesh Verma and
Prakhar Verma

Co-génération

En Inde l'usine de Ponni Sugars Erode a installé une nouvelle cogénération en lieu et place des chaudières 21 et 42 bars.

Chaudière haute pression	
P° et T°	112 bar – 545 °C
Débit	95 t/h
Efficacité	72% (base PCI)
Tirage	sur variateur
Combustible	bagasse-pith-biomasse alternatives

Une des pressions les plus élevées en industrie sucrière



Turbine	
P° et T°	110 bar-535 °C
Extraction MP	10 à 13 bars
Extraction BP	3,3 bars
Condenseur	Type: ACC
Puissance	19,5 MW
Rdt: 25% cond	4,875 kg/kWh
Rdt: 86% cond	3,763 kg/kWh

Turbine double extraction + Condensation

Séchage bagasse à BCML

En Inde, l'usine de Balrampur Chini a installé en 2020 un sécheur flash à bagasse sur sa chaudière 87b – 515°C de 80t/h



Design Sécheur Bagasse

Débit bagasse	31 t/h	T°gaz fumées E/S	140°C / 70°C
Humidité bag. E/S	49 / 39,5%	Pertes de charge	135 mmCE

Les gaz de combustion sont:

- prélevés en aval de l'ESP
- dirigés vers le sécheur par un ventilateur

La bagasse est introduite:

- dans le sécheur à un débit contrôlé
- en flux co-courant avec le gaz

Résultats

Humidité bagasse E/S	-9,6%	(47,6 à 38%)
PCI bagasse E/S	+21%	(9500 à 11600 kJ/kg)
Efficacité	+6 points	(70 à 76%)
Ratio Vapeur/bagasse	+12%	(2,4 à 3,1)
Température fumées	-61°C	(130 à 71°C)
Réduction excès d'air	15 à 20%	
Réduction CO2	30 à 35 t/jour	
Réduction MES	80 à 90%	

INGÉNIERIE

CO-GÉNÉRATION

Sources:

- Inde** ISGEC - S Awasthi, A Tewari, V Takroo and R Srivastava
- Argentine** EEAOC - M Carolina Cruz, MA Golato, G del H Zamora Rueda, S Casen and M Ruíz

Chaudière bagasse/vinasse

En Inde sur le site de JGN Sugar and Biofuels a installation et mise en service en Novembre 2024 d'une nouvelle chaudière 120t/h.



Chaudière haute pression

P° et T°	87 bar – 515 °C
Débit	120 t/h
Efficacité	71% (base PCI)
Imbrulés dans cendres volantes	4,83%
Combustible	bagasse +3,4 t/h vinasse concentrée

Les vinasses:

- Hautement corrosive
- Engendrent des cendres à faible point de fusion
- Encrassement des tubes

Traditionnellement les chaudières d'incinération de vinasse se limitent à 400°C.

Problématiques surmontées par:

- Amélioration de la grille tournante
- Redimensionnement foyer
- Economiseur et réchauffair vertical
- Métallurgie du surchauffeur
- Optimisation du ramonage
- Système d'atomisation de la vinasse

Ces améliorations ont permis de monter les températures à 515°C

Incorporation de résidus de Sorgho

Les sucreries de Tucuman en Argentine cherchent un substitue au gaz naturel.

PCI des résidus de Sorgho

- 6,7% sup. à la bagasse
- 4,1% sup. aux résidus de cannes.

Taux de K₂O élevé et donc faible T° de fusion le rend dangereux en combustible unique.

Les test effectués par la sucrerie de Tucuman montrent qu'une:

Co-Combustion: 20% Sorgho / 80% Bagasse viable sur les chaudières conventionnelles bagasse

Risques	Bagasse	Résidus de coupe bagasse	Résidus de coupe Sorgho
Formation mâchefers	0,16	0,48	0,88
Frittage des cendres	0,53	0,73	0,20
Encrassement des tubes	36,3	10,8	15,9
Dépôts sur parois	0,92	48,0	24,3
Corrosion	1,80	0,86	0,38
Mâchefers + Encrassement	0,13	0,01	1,56

(Elevé) (Modéré) (Faible)

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE ET VAPEUR

Fives FCB a présenté les concepts et technologies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'une sucrerie. Focus sur:

Préparation
Cannes:

Concepts	Conso. électrique
2 coupes cannes + 1 shredder gravitaire	71,1 kWh/t fibre
1 coupe cannes + 1 cane preparator + 1 shredder gravitaire	81,1 kWh/t fibre
1 ensemble shredder en ligne	58,0 kWh/t fibre

Le concept d'enclume réglable Fives permet de réduire la consommation électrique du shredder en ligne de 17%

Broyage:

Concepts	Conso. électrique	Conso. vapeur	Extraction
5 moulins MillMax électrifiés	41,9 kWh/tc	326 kg vapeur/tc	96,86%
1 diffuseur + 2 moulins	40,9 kWh.tc	406 kg vapeur/tc	97,85%

*Consommation électrique équivalente
Consommation vapeur est 20% inférieure*

Evaporation :

Concepts	Conso. vapeur	Débit vap. au condenseur
5 effets Roberts	363 kg vap/tc	25 t/h
5 effets flots tombants	330 kg vap/tc	20t/h
6 effets flots tombants	306 kg vap/tc	13t/h

Comparativement aux type Roberts, le passage aux flots tombants permet de réaliser une baisse de consommation vapeur de 9%. En passant à 6 effets, le gain est de 15%

Cristallisation:

Concepts	Brix sirop	Brix liqueur Std A	Conso. vapeur
Ajout d'eau excessif	74%	65%	331 kg vap./tc
Ajout d'eau optimal	74%	74,2%	317 kg vap./tc

La gestion de l'eau en cristallisation permet de diminuer de 4,5% la conso. vapeur

INGÉNIERIE

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION VAPEUR

Sources:

Inde ISGEC - S Awasthi and A Goyal

Allemagne BMA - Omkar P Thaval

ISGEC nous a présenté l'usine Bindal Papers qui atteint une **efficacité énergétique de 26% vapeur/canne**. L'objectif est de libérer un maximum de bagasse pour la production de papier. Pour atteindre ces consommations, les concepts principaux sont les suivants

- Evaporateurs à flots tombants 7 effets
- Cuites discontinues en A et grainage B avec SV adapté à la VP5/6
- Cuites continues verticales en jet B et C alimentées en VP5/6
- Utilisation des condensats pour réchauffage des jus

L'objectif est de libérer un maximum de bagasse pour la production de papier.

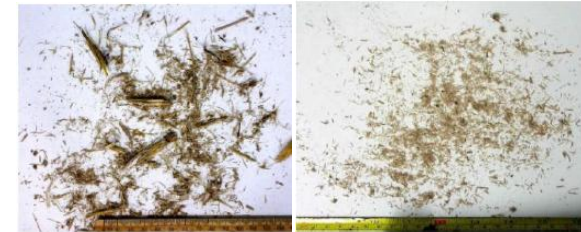


Figure 8. Whole bagasse.

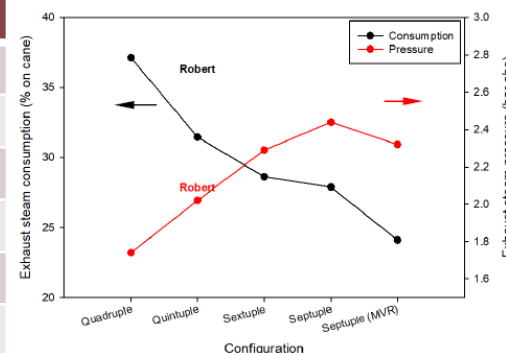
Figure 9. Pith.

La chaudière 68bar est conçue pour brûler:

- 100% bagasse
- 40% bagasse + 60% pith de bag
- 30% balle riz + 70% pith de bag
- 25% copeaux bois + 75% pith bag.

BMA nous propose un comparatif d'efficacité énergétique en faisant varier les types et nombre d'effets de l'évaporation.

Type d'évaporation	Vapeur%Canne	Pertes%sucre
Quadruple FFE	38%	0,08 %
Quintuple Roberts	36,7%	0,6 %
Quintuple FFE	31,5%	0,18 %
Sextuple FFE	28,7%	0,25 %
Septuple FFE	27,9%	0,32 %
Septuple FFE + MVR	24,1%	0,22 %



BMA propose de positionner une compression mécanique sur la vapeur du dernier effet afin d'alimenter le cuites VKT. Ce qui permettrait d'atteindre une **consommation vapeur de 24,1% canne**

Notons également que les pertes en sucre diminuent avec le modèle MVR puisque la surface de chauffe sur les 1^{er} effets sont moindres

INGÉNIERIE

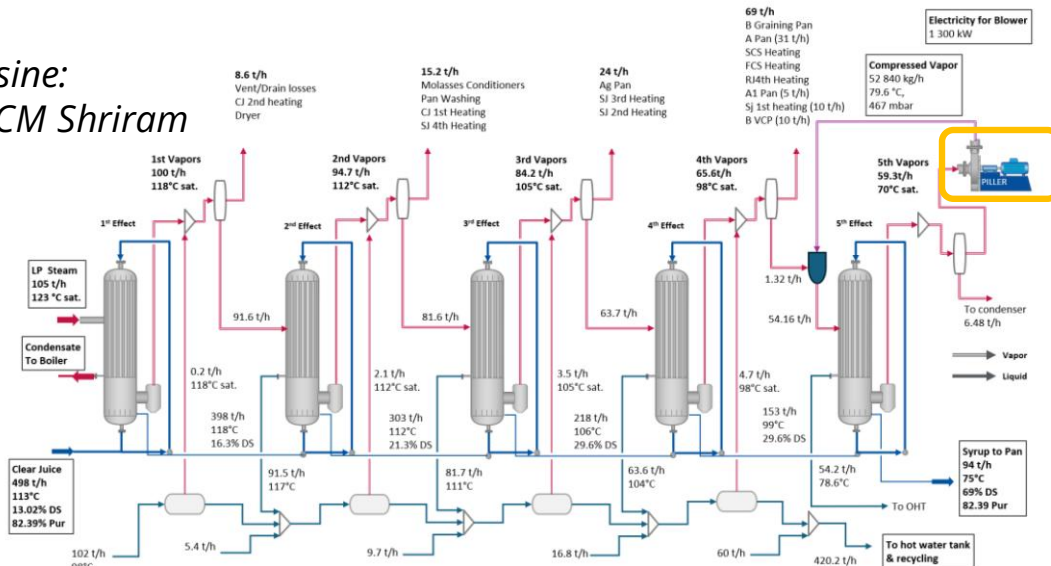
RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION VAPEUR

La recompression mécanique de la vapeur "MVR" tend à se démocratiser dans les :

- Projet d'économie vapeur,
- Projet d'augmentation de capacité,
- Projet d'usine neuve à haute efficacité énergétique

Sur 4 articles traitants la MVR, 3 s'appuient sur des installations actuellement en exploitation. Les résultats opérationnels convergent:

Usine:
DCM Shriram



Sources:

Allemagne Piller, DCM Shriram - Orlando Parra Ruiz, Lalit Solanki and Harsh Vardhan

Inde DCM Shriram - Roshan Lal Tamak, Harsh Vardhan, Vineet Kumar Mishra and Ram Mohan Singh Chauhan

Allemagne BMA - Omkar P Thaval

Inde Spray Engineering - V Verma and RN Tiwari

Synthèse des gains:

- - 8 à 12 points sur vapeur % canne
- + 25 à 30% capacité évaporation
- Réduction des besoins en eau de refroidissement

Effizienz technique:

- + 9 à 11°C sur la T° vapeur recompressée
- Coefficient de performance env. = 5
(1,4MW d'énergie électrique produit 7MW d'énergie thermique)

Principales utilisations:

- Derniers effets évaporation
- Cuites continues
- Concentration

INGÉNIERIE

CRISTALLISATION

Automatisation de la Cristallisation

L'automatisation de l'atelier cristallisation permet de réduire les consommations vapeur et d'améliorer la qualité sucre

Contrôle strict de la supersaturation:
SS comprise entre 1,035 et 1,14 pour éviter une croissance ralentie où la formation de fines.

Elimination totale des ajouts d'eau:

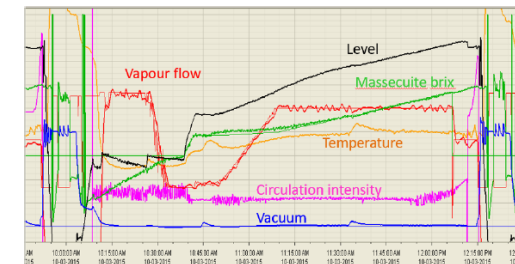
- Suppression de l'eau pendant la cuisson
- Pas de dissolution des grains
- Eau fondoir remplacée par du sirop

Réduction de la consommation vapeur de 11% globale usine

- Passage de 430kg vapeur /tc à 384 kg vapeur/tc

Amélioration de la qualité sucre

- OM pour sucre Roux: 0,95 – 1,05 mm
- CV pour sucre Roux: 27 – 29
- Coloration: Passage de 1000 IU à 700 IU
- OM pour sucre Raffiné: 0,83 – 0,87 mm
- CV pour sucre Raffiné: inférieur à 30



Réduction du temps de cuisson de 10%

Technologies "Dimple Tubes"

Bosch propose des tubes présentant des cavités afin d'effectuer des augmentations de capacité ou économies vapeurs, cela à faibles coûts.

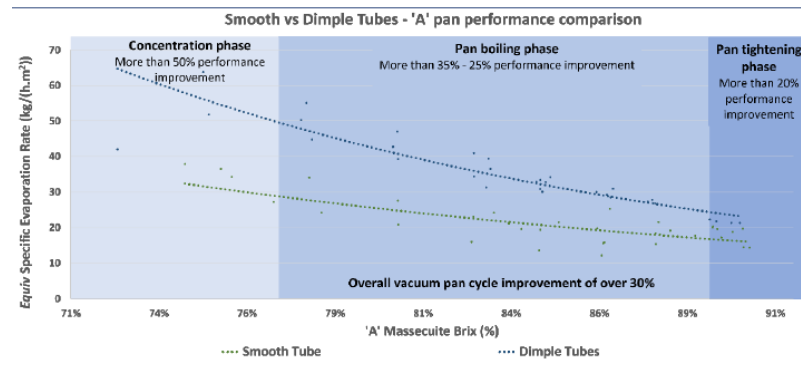
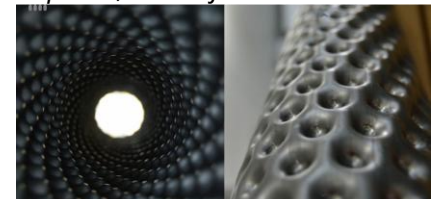


Figure 1. Dimple tube versus smooth-wall tube performance on A-massecuite (pilot plant).

Les cavités des tubes permettent de créer des turbulences et ainsi augmenter le coefficient d'échange thermique:

- Le coefficient de transfert augmente de 14%
- L'exploitation montrent une réduction du temps de cycle de 32,6%
- Permet d'augmenter la capacité de la cristallisation
- Permet de décaler les prélèvements vapeur vers des effets plus froids

Solution à prix concurrentiels et facile à mettre en œuvre:

- prix annoncés: 3 à 4 fois moins chères que des agitateurs ou faisceaux nids d'abeilles
- tout en présentant de meilleures performances

Sources:

Belgique

DSEC – Marc Vandemoortele and Jean-Pierre Laurent

Afrique du Sud

Bosch Projects - D Bezuidenhout, M Gokool and M Stevens

CONTRÔLE QUALITÉ : AIDE À LA DÉCISION

NIR technologie pour détermination rapide des Brix et Pol

L'industrie sucrière de
Louisiane a débuté
l'implémentation de la
spectrométrie proche
infrarouge dans ses
usines et champs

Objectifs Usine:

- Prédire le Pol et Brix des: jus-sirops-mélasse
- Réduction du temps d'analyse
- Moins d'erreurs opérationnelles
- Contrôle qualité renforcé et continue
- Prise de décision plus rapides

Objectifs Champs:

- Optimisation de l'application des maturateurs
- Optimisation de la date de récolte
- Estimation des rendements sucre/ha
- Amélioration de la logistique



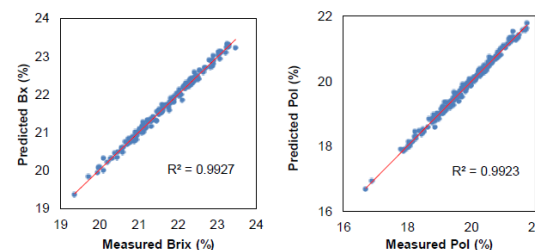
Améliorer la prise de décision usine-agriculteur grâce à une analyse rapide et fiable

Résultats Usine

Material	Brix		Pol	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Core lab juice (press juice)	91.44	0.30	93.48	1.3
Mixed juice	85.62	0.30	94.04	0.20
Clarified juice	95.52	0.67	97.20	0.49
Final evaporator syrup	93.31	1.38	91.57	1.34
Filtrated juice	86.63	0.25	87.24	0.23
Final molasses	86.82	0.53	97.14	0.39

- R² mesure le degré de corrélation (NIR – Labo). Il est supérieur à 90 ce qui démontre sa fiabilité
- RMSE mesure l'erreur moyenne. Les valeurs obtenues sont faibles

Résultats Champs



4 à 10 tiges sélectionnées et extraction du jus sur mini moulin 3 rouleaux sur remorque

- Les résultats au champs sont remarquables avec un R² supérieur à 99.

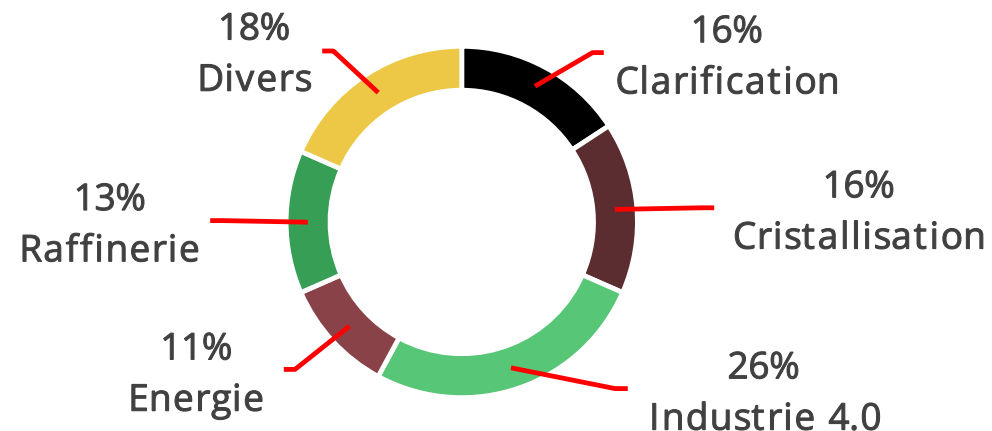
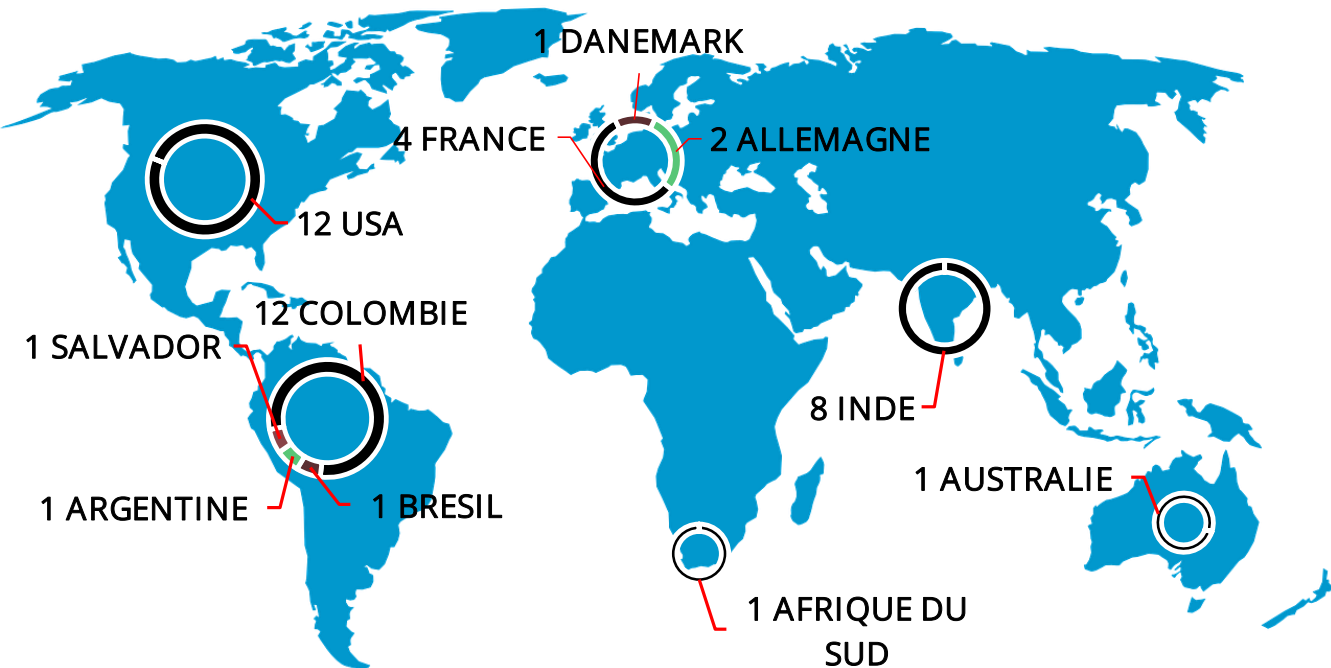
Remarques:

La précision des mesures NIR dépendent des matières étrangères présentes dans les jus – sirops – mélasse. D'où la très bonne corrélation au niveau des analyses champs

PROCESS

Les 27 papers et 11 posters révèlent une dynamique claire:

La performance du futur passe par la capacité à contrôler la variabilité des produits, à maîtriser la cristallisation par un monitoring et une analyse 4.0 des procédés.



3 axes principaux se dégagent:



1. Clarification et stabilité du jus



2. Cristallisation avancée



3. Industrie 4.0

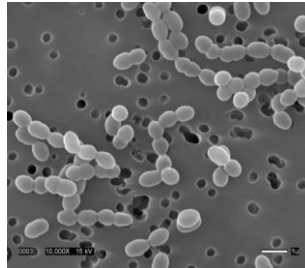
PROCESS

Les 27 papers et 11 posters révèlent une dynamique claire:

La performance du futur passe par la capacité à contrôler la variabilité des produits, à maîtriser la cristallisation par un monitoring et une analyse 4.0 des procédés.

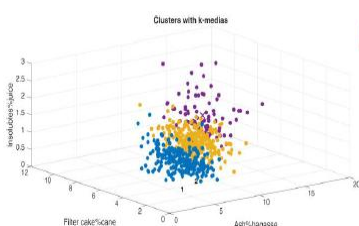
1. Clarification et stabilité du jus

- Impact des impuretés et non cannes
- Gestion microbienne
- Épuration secondaire par résine cationique



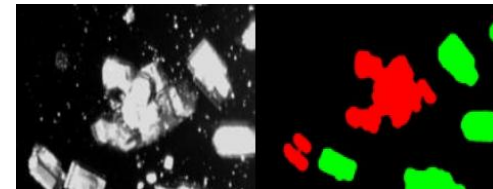
3. Industrie 4.0

- Management de l'exploitation et maintenance
- Gestion des pertes indéterminées
- Bilan usine
- Mesure en temps réel (Spectroscopie NIR, chromatographie)



2. Cristallisation avancée

- Impact de l'amidon, dextrans et Fructans
- Mesure en temps réels des cristaux
- Mesure par conductivité et matière sèche



Raffinerie – Energies - Divers

- Décoloration: essais et technologies
- Efficience chaudière
- Co-génération et Tri-génération
- Traitement et utilisation des effluents
- Empreinte carbone
- Stockage sucre

PROCESS

CLARIFICATION ET STABILITÉ DU JUS

Sources:

Colombie CENICANA – LM Arévalo, JG Rodríguez, DF Teuta and NJ Gil

USA USDA-ARS - Gillian O Bruni and Evan Terrell

Contexte Colombien

- augmentation du taux de coupe mécanique
 - variations climatiques
 - pratiques agricoles hétérogènes
- Baisse de la pureté jus de 2,3%
- Augmentation de pertes mélasse de 20%

Clarification:

L'épuration classique permet un taux d'abattement des impuretés solubles < 10% (microbiennes et minérales)

Bonnes pratiques:

- Coefficient de variabilité du débit de jus minimal
- Ajustement précis du pH et température
- Maintien du taux de phosphate entre 180 et 220 ppm
- Bonnes pratiques préparation flocculent

Sanitation:

- Maintien du taux de mannitol < 300ppm/Brix
- Sanitation à l'eau fréquent et T° > 80°C
 - Application de **biocides terpénique** sur les 1ers jus
 - Application d'**acide peracétique** sur les filtres à boue

Flux des jus:

- Gérer les flux de retours sucrés en fonction de leur Brix et de leur teneur en métabolite micobien
- Minimiser les stockages flux de retour surtout si <50°C

Efficacité des biocides

Le service recherche du département agricole des USA a testé différents biocides afin de déterminer leurs efficacités et CMI

Antimicrobien	Spectre d'action	CIM
Hydritreat 2216 (acide peracétique)	Gram+ ; Gram - ; Levures	63-125 mg/kg
Hypochlorite de Sodium	Gram+ ; Gram - ; Levures	250 mg/kg
Hops BetaStab XL	Gram+	16 mg/kg



PROCESS



CLARIFICATION ET STABILITÉ DU JUS

Sources:

Colombie *Ingenio Providencia* – Gloria Carolina Prieto Correal, Miguel Angel Ramos Galeano, Jorge Humberto Morales and Daniel Mauricio Ramirez Landinez

USA *Process solutions Americas, Applexion* – Antoine Charbonneau,
France *Phelipe Czelusniak, Cyril Leenhardt and Olivier Pauwels*

Réduction des pertes microbiennes

Mise en place d'un système CIP sur les filtres à boue afin de diminuer les charges microbiennes dans les tuyauteries internes du filtre sous vide

Les pertes microbiennes sont souvent sous-estimées face aux pertes chimiques. Pourtant, elles induisent:

- Consommation du saccharose par les bactéries
- Production de lactate, acides volatiles, mannitol, dextrans
- Augmentation de la viscosité et filtration difficile
- Baisse de rendement sucre
- Augmentation des pertes écumes

	Conventionnel	Conventionnel + CIP
Acide lactique	-0 à -25%	-37 à -53%
Acides volatiles	-0 à -1%	-10 à -25%
Mannitol (eq. perte sucre)	0,16 kg/tc	0,06kg/tc
Part dans pertes Indeter.	14 à 35%	2 à 9%

En plus du nettoyage externe conventionnel une fois par shift, un système de nettoyage par eau chaude des tuyauteries internes a été développé.

Epuration complémentaire: Filtration par résine cationique

Procédé installé sur 4 usines dont 2 Téréos Bresil

Double filtration:

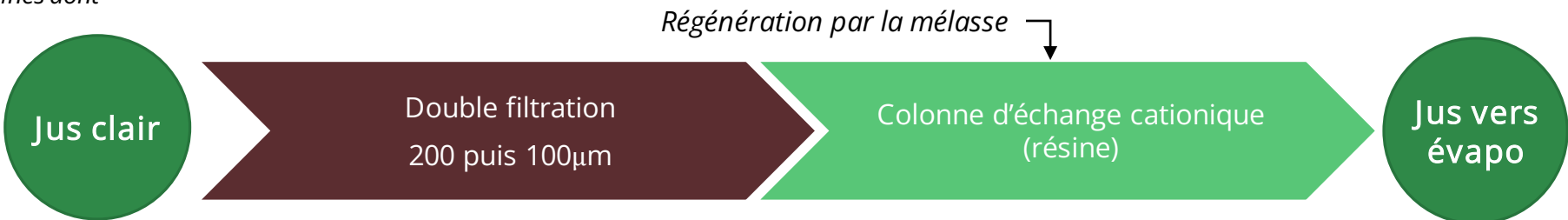
- Réduction -23% de Turbidité
- Réduction -54% de MES

Résine Cationique:

- Réduction 90% de la dureté (de 1130mg/L à 50mg/L)

Gains industriels:

- Réduction importante de l'entartrage
- Diminution des arrêts évaporateurs
- Economie vapeur



PROCESS



CRISTALLISATION

Sources:

Colombie CENICANA – LM Arévalo, JG Rodríguez, DF Teuta and NJ Gil

USA Audubon Sugar Institute – Stephania Imbachi, Ordonez, Gillian Eggleston, Alexa Triplett and Lenn Goude

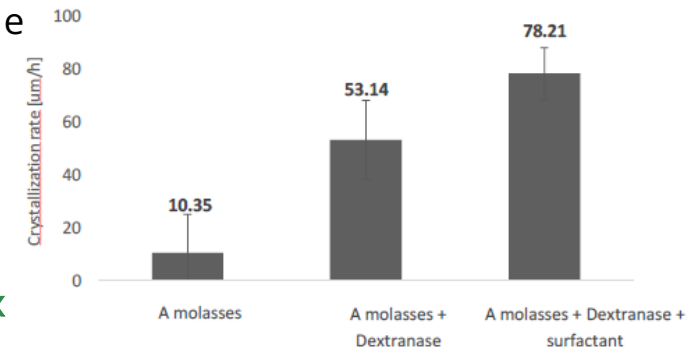
Elimination des dextrans

L'augmentation de la coupe mécanique et la variabilité climatique impactant la récolte induit une hausse de la présence de dextrane dans les jus des usines colombiennes

L'utilisation de 10ppm de Dextranase associé à 70ppm de tensioactif au niveau de l'alimentation des cuites batch a donné les résultats suivants:

- Dextranase: hydrolyse de 12% des polysaccharides
- Dextranase: viscosité réduite de 18%
- Tensioactif: viscosité réduite de 14,7% supplémentaires

Gain: +655% de la vitesse de cristallisation et -27% d'élongation des cristaux

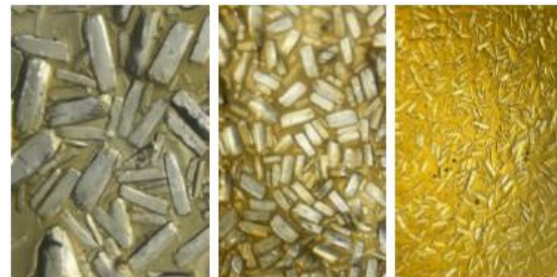


Lien entre Fructans et élongation des cristaux

En début de campagne 2022 certaines sucreries de Louisiane ont été touchées par une élongation anormale des cristaux. Causant l'augmentation des pertes et du temps de cuisson.

Correlation:

- 89% entre allongement et fructan pour cristaux non lavé
- 81% entre allongement et fructan pour cristaux lavé



Contrairement aux corrélations habituelles l'élongation (*allant jusqu'à 7,9x la longueur normale*) n'était pas induite par la présence de dextrane ou de trisaccharides.

Le Fructan a été identifié comme le contaminant principal. Il s'incorpore au cristal pendant la croissance et provoque une inhibition de croissance directionnelle.

Conclusion:

- Les symptômes ressemblent à ceux du dextran mais les causes sont différentes.
- L'application de dextranase ne résout pas le problème. Il est inefficace car la structure est différente.
- La cristallisation est perturbée non par adsorption superficielle, mais par incorporation interne des **Fructans**

PROCESS



CRISTALLISATION AVANCÉE

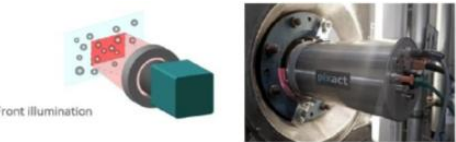
Sources:

Inde *IPRO – Harjeet Singh Bola, Boris Morgenroth, Saiedeh Wicht*
Allemagne

Colombie *Cenicana, Ingenio Providencia – María F Hernández, Juan G Rodríguez, Julio A Calpa, Joan S Luna and Nicolás J Gil*

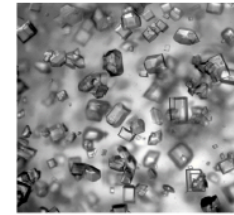
Monitoring avancé de la cristallisation

L'intégration du CMS à un système moderne d'automatisation de cuite permet d'améliorer la qualité et l'efficacité de la cristallisation

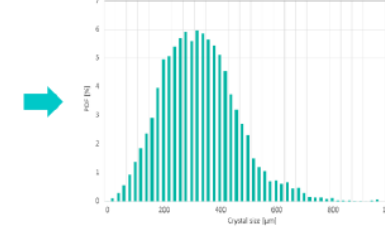


Technologie utilisée:

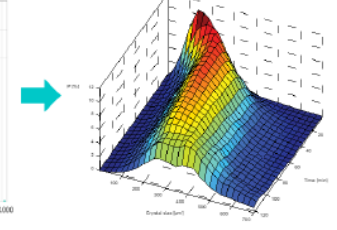
- Caméra insérée de 100mm sur la cuite
- Lumière stroboscopique
- Ordinateur
- Connection au SCADA
- Image live de la masse cuite
- Spectre de capture: 8µm à 4mm
- Statistiques toutes les 2 min
- Classification des cristaux
- Produit: Massecuites R-A-B-C



Live camera view of the crystal suspension



Measured crystal size distribution



Time-wise development of the crystal size distribution

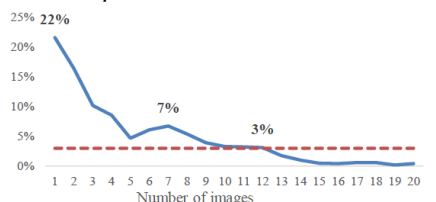
Résultats

- Suivi en continu: Segmentation-Classification-Distribution granulométrique
- Détection précoce des fines
- Ajouts d'eau uniquement si nécessaire pour gestion des fines (zéro action opérateur)
- Détection de casse cristalline tip speed > 4m/s

Amélioration: qualité sucre, consommation vapeur, rendement global

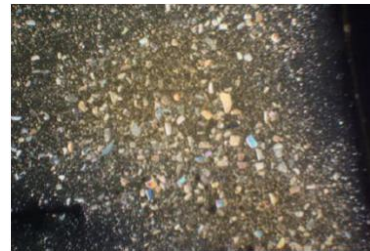
Monitoring avancé de la cristallisation par CeniCristal

Outils rapide, précis et accessible permettant de mesurer la distribution de taille des cristaux en temps réel.

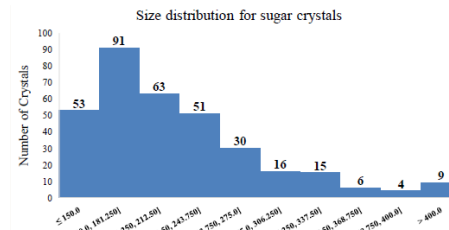


Technologie utilisée:

- Microscope avec caméra digital
- Visualisation par ordinateur
- Traitement des images
- Calcul OM et CV
- Analyse < 30s
- Possibilité d'exporter les résultats
- Erreur < à 3% avec un minimum de 12 images
- Multiproduits: semence, massecuites, mélasse, sucre



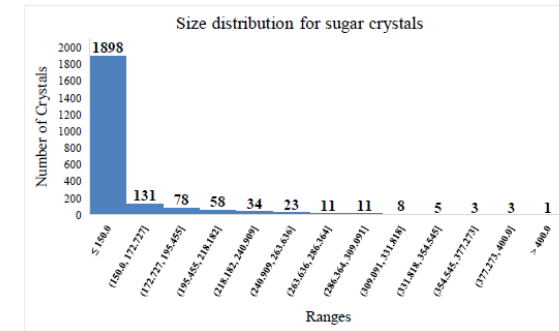
Providencia: 8 483 analyses/an soit 24/j



Résultats

- Suivi en continu
- Support décisionnel
- Détection anticipée des ruptures tamis centrifugeuses
- Réduit le CV de 4 à 19% et Améliore la granulométrie

Augmente la Récupération sucre



PROCESS

DIGITALISATION : INDUSTRIE 4.0

Sources:

Colombie

Cenicana – JA Calpa, FY Alvarez, JA Echeverry, DF Teuta and NJ Gil

L'industrie 4.0 fait référence à l'intégration de l'automatisation et de l'échange de données dans la fabrication.

Système DataCane par Cenicana

Il s'agit d'une plateforme intégrée de gestion de données industrielles en temps réel.

En fonctionnement sur:

- 6 usines,
- 150 variables suivies



Figure 4. Operational dashboard, evaporation first effect.



Figure 5. Executive dashboard for preparation and milling.

Intégration Qualité & conformité:

- Suppression des rapports manuels
- Kpi's accessibles
- Dashboard dédié suivant niveaux:
 - Opérations
 - Ingénieurs
 - Executif

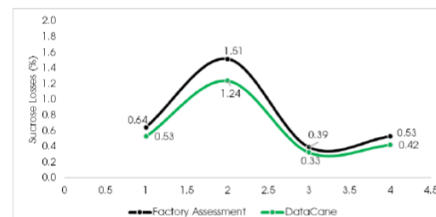
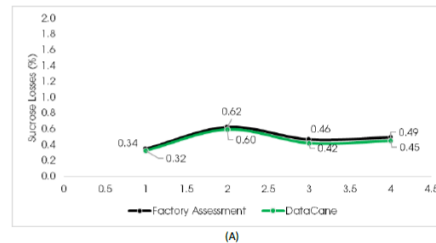
Modélisation en temps réel des pertes sucre:

Cet indicateur est actuellement implémenté dans la gestion de quart et permet de:

- Ajuster les paramètre pH, débit, niveaux et T°.
- Réduire les pertes thermique 1^{er} effet
- Prendre des décisions immédiates

Erreur modèle:

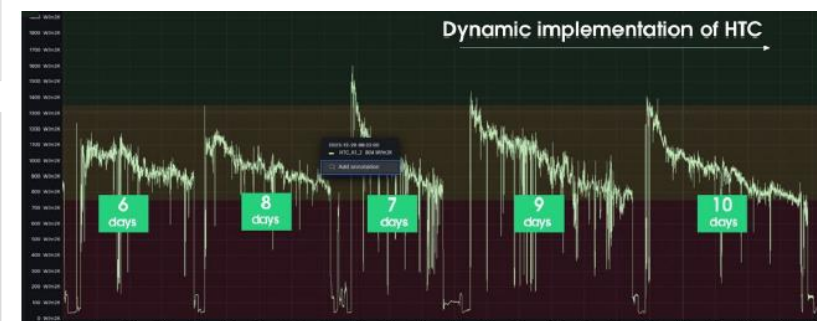
- usine stable: 3-8%
- usine instable (post démarrage): 9-20%



Maintenance dynamique des évaporateurs:

Le coefficient de transfert de chaleur devient le critère pour déclencher et réceptionner le nettoyage. (erreur 8% HTC)

- Cela a induit une réduction de 30% des interventions de nettoyage.



HTC (W/m²K):

Démarrage: >1350

Marche: 750-1350

Intervention: < 750

AFCAS
ASSOCIATION FRANCOPHONE DE LA CANNÉ À SUCRE

PROCESS

DIGITALISATION : INDUSTRIE 4.0

Sources:

Inde

Vasantdata Sugar Institute – PG Patil, RA Chandgude and SM Rao

L'industrie 4.0 fait référence à l'intégration de l'automatisation et de l'échange de données dans la fabrication.

Système de contrôle et d'alerte Process

Les systèmes de monitoring sont généralement déployés dans l'industrie sucrière. La prochaine étape est la mise à disposition d'un système d'aide à la décision et de contrôle automatique avancé.

Le système RMAS (Remote Monitoring and Advisory System) est en développement en Inde. Il intègre un monitoring en temps réel (DCS, SCADA, capteur, laboratoire, mesures électrique), déjà implémenté, auquel ils associent:

- Module d'analyse de la performance
- Un système d'alerte
- Un module d'aide à la décision utilisant les dernières datas, l'historique, des benchmarks usine, des algorithmes et logiques de contrôle

Génération des recommandations d'actions manuelles ou automatiques

Exemple: Liste des entrées Moulin
Amélioration des performances et efficacités








Performance parameter	Required Inputs for Control Logic
Pol % bagasse - 1.8 to 1.9	<ul style="list-style-type: none">• Primary extraction• Selection of milling equipment such as TRPF, UFR, TRF, GRPF and also roller pitch• Donnelly chute level• Mill RPM and Load• Reabsorption factor• Hydraulic pressures• Top roller lift• Mill setting at actual• Motor temperature and vibration• Gearbox lubrication pressure• Mill bearing temperature for reducing equipment downtime• Imbibition percent on fibre• Imbibition water temperature• Individual mill brix• Inter rack carrier RPM and Load
Reduced mill extraction - 95-96	
Moisture % Bagasse - 48-49	
Power consumption kW/t - 12.5-13.5	
	(Existing Mill DCS will be upgraded with required additional inputs)

Résultats principaux attendus:

Sugar production	<ul style="list-style-type: none">• Improvement in sugar recovery 2 to 5%• Improvement in overall production 5 to 10%
Equipment downtime	<ul style="list-style-type: none">• Reduced about 20-50%.
Equipment efficiency	<ul style="list-style-type: none">• Steam turbine efficiency 5-15%• Boiler steam generation 5 to 10%• Throughputs 5 to 10%• Mill efficiency 3 to 7%• Boiler efficiency 1 to 5%• Steam turbine efficiency 3 to 10%• Life cycle extension 5 to 15%• Evaporation / crystallization 5 to 10%
Energy losses	<ul style="list-style-type: none">• Sugar mill electrical energy reduced by 5 to 10%• Steam consumption reduced by 5 to 10%• Bagasse consumption reduced by 5 to 10%• Water usage reduced by 5 to 10%
Operation and maintenance costs	<ul style="list-style-type: none">• Maintenance costs reduced by 10 to 20%• Operating costs reduced by 5 to 15%

CONCLUSION

LES ÉTUDES, PROJETS PILOTES ET LES RÉALISATIONS INDUSTRIELLES PRÉSENTÉES LORS DU CONGRÈS ISSCT 2025 ONT PRINCIPALEMENT PORTÉES SUR :

-  L'**optimisation** de la production énergétique et l'intégration de nouveaux résidus agricoles
-  L'**optimisation** des consommations énergétiques
-  L'**exploitation** des Co-produits à travers leurs revalorisations agricoles
-  Des **études** sur la revalorisation chimique et catalytique de la bagasse et vinasse
-  L'**impact** de l'augmentation du taux de coupe mécanique sur l'épuration et la cristallisation
-  Le **suivi** des procédés par un monitoring avancé
-  L'**industrie 4.0** au service d'une meilleure productivité et qualité